

**PROGRAMME EUROPEEN  
DOCUP 2000-2006**

**PROGRAMME DE TRAVAUX D'APPUI AU DEVELOPPEMENT  
DE LA CANNE A SUCRE EN GUADELOUPE**

**CONTRAT D'ENTREPRISE DU CIRAD-CA – 1<sup>ère</sup> TRANCHE**

**RAPPORT D'ACTIVITES – SECONDE PARTIE**

**Système d'Information Géographique  
en appui à la production de canne  
Rapport d'activités 2002**

**VCAT : Damien SERRE**

**Février - Septembre 2002**

# Sommaire

Introduction	3
1/ Le contexte	4
1.1/ La canne à sucre en Guadeloupe	4
1.2/ L'implication du CIRAD	4
1.3/ Les objectifs de la modélisation	5
1.4/ La modélisation en Guadeloupe	5
2/ Acquisition de données	9
2.1/ La profondeur du sol	9
2.2/ Le relief	15
2.3/ Les données satellitales	15
3/ La gestion du SIG et la production cartographique	17
3.1/ Le SIG de Roujol	17
3.2/ La production cartographique	17
3.3/ Le transfert des connaissances	19

## Introduction

Ce rapport est le résultat de sept mois d'activité au CIRAD-CA de Petit-Bourg, dans le domaine de l'acquisition, la production et la gestion de données géoréférencées. Le second volet de ma mission a consisté en un transfert des connaissances. En effet, une partie du personnel est amenée à utiliser certains outils liés à l'information géographique, sans, pour autant, qu'ils aient suivi de formations spécifiques et officielles dans ce secteur d'activité. D'autres acteurs ont également pu bénéficier de formations : il s'agit notamment de nos partenaires scientifiques, économiques et administratifs.

Ce document présentera les différentes tâches que j'ai accomplies lors de mon volontariat civil de l'aide technique, entre le 20 février 2002 et le 30 septembre 2002, au sein du service de modélisation de la production de la canne à sucre, service dirigé par Pierre Todoroff.

Outre cette présentation de ma mission, il semble nécessaire de rappeler ici l'importance et le rôle de la filière canne en Guadeloupe, la manière dont le CIRAD contribue à son développement, et enfin, les objectifs de la modélisation de la production.

## **1/ Le contexte**

Le CIRAD a pour objectif de contribuer au développement économique et social des pays tropicaux et subtropicaux. Il mène cette mission notamment grâce à ses activités de recherche et ses réalisations expérimentales, mais aussi au travers de l'important volet que constitue d'une part la formation, et d'autre part la mise à disposition de l'information scientifique et technique.

### ***1.1/ La canne à sucre en Guadeloupe***

La culture de la canne à sucre revêt une importance économique particulière en Guadeloupe. Elle se pratique sur 11500 ha (dont 2400 à Marie-Galante), concerne 5000 planteurs recensés et le sucre de canne constitue la deuxième production agricole du département, juste derrière la banane.

Avec notamment 92% de la production de sucre exportée en 1999 et 2000, la filière canne-sucre-rhum représente des enjeux économiques, et par extension des enjeux sociaux, très importants pour l'île, qui connaît un taux de chômage supérieur à la moyenne nationale.

Toutefois, la production et les rendements restent fluctuants, soumis en particulier aux conditions climatiques variables d'une année sur l'autre.

### ***1.2/ L'implication du CIRAD***

Le CIRAD a un rôle de coopération, de recherche et de développement. La canne à sucre est, parmi les quelques productions agricoles guadeloupéennes, une des rares à être encore viable économiquement en Guadeloupe, mais la tendance générale est globalement orientée vers un déclin de cette activité. La mission du CIRAD, est donc de parvenir à maintenir un niveau et une qualité de production, l'objectif étant d'arriver à l'améliorer.

Cette amélioration est le résultat d'une volonté de consolider les actions du CIRAD en matière de recherche, d'appui au développement, de formation et d'expertise. Ces

actions de recherche et d'appui aux opérateurs sucriers ont été structurées en cinq projets : la connaissance du génome, la protection de la plante, l'amélioration variétale, l'agronomie et la modélisation du couvert végétal et de la production.

Nous allons donc maintenant nous intéresser au projet concernant la modélisation.

### ***1.3/ Les objectifs de la modélisation***

L'amélioration des pratiques agronomiques, l'étude du fonctionnement de la plante et la modélisation de sa croissance, la gestion du bilan hydrique et le développement d'outils d'aide à la décision constituent les axes forts des actions en agronomie et modélisation du couvert végétal. Ces actions sont ensuite valorisées dans le cadre de l'appui à la filière et à ses acteurs.

Ce projet participe donc à l'amélioration des systèmes de culture et des itinéraires techniques en fonction des contraintes et des spécificités locales.

### ***1.4/ La modélisation en Guadeloupe***

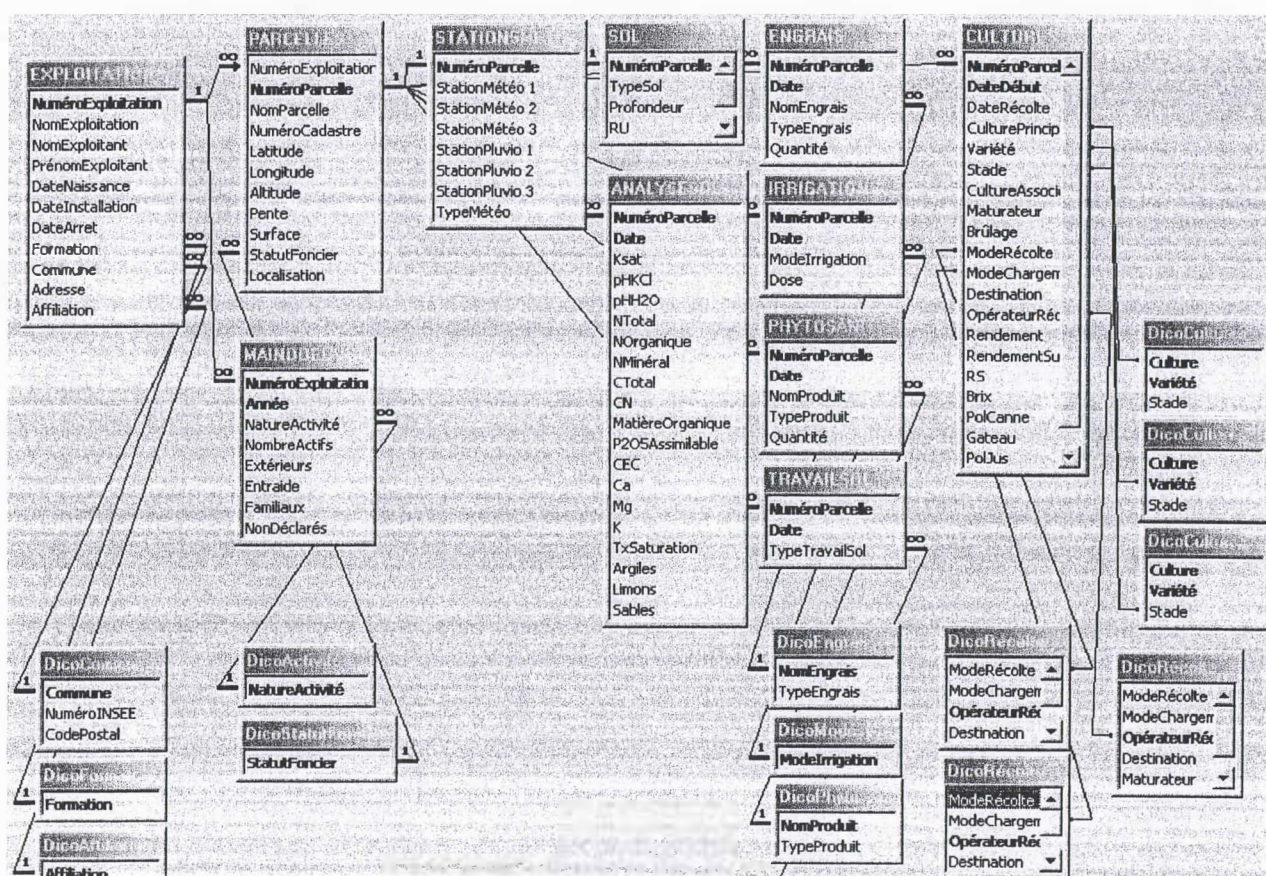
Un modèle écophysologique de croissance de la canne à sucre (MOSICAS) est en cours de développement au CIRAD Réunion par Jean-François Martiné dans les conditions de production réunionnaises. Ce modèle simule la croissance d'une culture de canne à sucre, à partir des données biophysiques décrivant l'environnement de la parcelle. Il est opérationnel avec ses fonctions de base depuis fin 1999.

La Guadeloupe bénéficie d'un climat sensiblement plus humide et constant au cours de l'année que celui de La Réunion, ainsi que des variétés et des cycles de culture différents. Ces conditions font défaut au domaine de validité actuel du modèle. Nous avons donc mis en place en Guadeloupe des expérimentations similaires à celles qui ont servi à développer le modèle à La Réunion. Elles vont permettre d'élargir son domaine de validité afin de couvrir la plupart des conditions de culture de la canne.

Nous développons, conjointement à nos travaux de calage et validation, des applications agronomiques de ce modèle pour répondre aux besoins de la filière, notamment une méthode d'estimation de rendement utilisée par la commission de prévision de récolte en début et au cours de la campagne de coupe.



Parallèlement à ces activités de modélisation, sont menés des travaux de développement d'outils d'aide à la production. En particulier une base de données agronomiques géoréférencée pour l'agriculture cannière guadeloupéenne (Canne à Sucre Système d'Information Spatialisé, CASSIS) qui a été initié en 1997 avec les acteurs de la filière canne locale. Il a pour but de constituer un système d'information géographique regroupant les principales données culturelles (dates de plantation, variété, rendement, etc...) de l'ensemble des parcelles cultivées en canne à sucre. Il permettra d'une part de disposer d'une image agronomique précise de la sole cannière et d'autre part de spatialiser les simulations de croissance calculées par le modèle MOSICAS à l'ensemble de la Guadeloupe en l'intégrant à la base de données.



### Schéma relationnel de la base CASSIS



## Copies d'écran de l'interface

**CASSIS v3.50**

REQUETES | CARTOGRAPHIE | EXPLOITATION | PARCELLE | SOL | ITINERAIRE TECHNIQUE | CULTURE

Numéro de l'exploitation: 339 | Commune: LE MOULE | Code postal: 97160 | Adresse: SAINT-MARIE GARDEL

Nom de l'exploitation: GARDEL S.A. | Nom de l'exploitant: GARDEL S.A. | Prénom(s):

Formation: | Affiliation: SICAGRA | Né(e) le: | Installé(e) en: | Cessation d'activités en:

Moins d'oeuvre

Année: | Nature de l'activité: | Ajouter une année

Nombre d'actifs: | Extérieurs: | Entraide: | Familiaux: | Non déclarés(s):

Total: | Valider

547 exploitations dans la base de données

Page EXPLOITATION

**CASSIS v3.50**

REQUETES | CARTOGRAPHIE | EXPLOITATION | PARCELLE | SOL | ITINERAIRE TECHNIQUE | CULTURE

Numéro cartographique: 4009 | Nom de la parcelle: | Statut foncier: | Numéro cadastré:

Localisation Géographique

Latitude: 1772571.87 | Longitude: 651052.72 | Altitude (m): 111 | Pente (%): 6.3 | Surface (ha): 3.05

Début Campagne: 07/07/2001 | Date de fin: | Culture: Canne à sucre | Surface: 8.69565 | Stade: Canne plantée | Rendement:

464 parcelles dans la base de données

Page PARCELLE

**CASSIS v3.0**

REQUETES | CARTOGRAPHIE | EXPLOITATION | PARCELLE | SOL | ITINERAIRE TECHNIQUE | RECOLTE

Numéro cartographique: 3303 | Nom de la parcelle: | Groupe:

Type de sol: | Profondeur (m): | RU (mm/m): | RFU (mm/m):

Date du prélèvement: | Kcal: | pH Kcl: | pH H2O: | Ajouter un prélèvement

Azote total: | Azote organique: | Azote minéral: | Supprimer ce prélèvement

Carbone total: | C/N: | Matière organique: | P205 assimilable: | Valider

CEC: | Ca++: | Mg++: | K+: | Taux de saturation: |

Argiles: | Limons: | Sables: |

Page SOL

**CASSIS v3.0**

REQUETES | CARTOGRAPHIE | EXPLOITATION | PARCELLE | SOL | ITINERAIRE TECHNIQUE | RECOLTE

Numéro cartographique: 5313 | Nom de la parcelle: | Groupe:

Engrais: | Date: | Quantité (t/ha): | Ajouter une date

Type: | Nom de l'engrais: | Supprimer cette date

Mode: | Dose (mm): | Valider

Produits phytosanitaires: | Date: | Quantité (kg/ha): | Ajouter une date

Type: | Nom du produit: | Supprimer cette date

Travail du sol: | Date: | Ajouter une date

Type de travail: | Valider

Page ITINERAIRE TECHNIQUE

**CASSIS v3.50**

REQUETES | CARTOGRAPHIE | EXPLOITATION | PARCELLE | SOL | ITINERAIRE TECHNIQUE | CULTURE

Numéro cartographique: 3163 | Nom de la parcelle: | Ajouter une culture | Supprimer cette culture

Date de début de culture: | Date de récolte: 04/05/2000 | Commentaires:

Culture principale: Canne à sucre | Variété: R 570 | Stade: Canne plantée | Culture associée:

Mode de récolte: Mécanique | Mode de chargement: Chargeur | Opérateur de récolte: | Destination:

Rendement: | Richeur saccharométrique: | Rendement sucre (t/ha): | Brûlage avant récolte: | Utilisation de mouture:

Brix (%): | Gâteau (g): | Pol % jus: | Fibre (%): | Pureté (%): | Pol % canne:

35 parcelles(s) sur cette exploitation

**CASSIS v3.0**

EXPLOITATION | PARCELLE | SOL | ITINERAIRE TECHNIQUE | RECOLTE | REQUETES | CARTOGRAPHIE

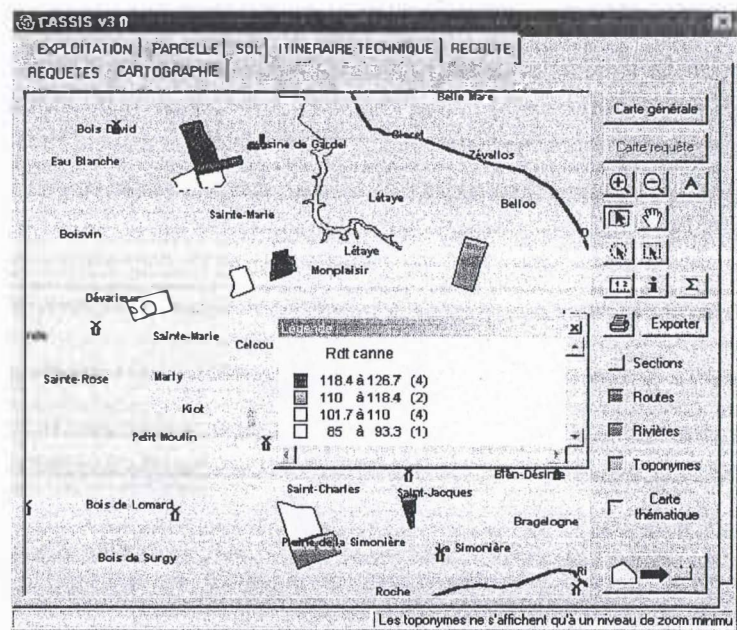
Construction de la requête

Champ à extraire: | Champ de critères: | Comparateur: | Contenu: | Opérateur:

Réinitialiser: | Exécuter la requête:

Numéro	Parcelle	Surface	Date	Rendement (t/ha)	Opérateur
7255	Dauroum	1.2	11/04/1999	84.95436	ET
7635	Eoune	3.70	11/04/1999	82.98462	
7762	Gouffre Gardel 1	3.32	02/05/1999	67.95067	
7773	Comel	3.06	02/05/1999	67.6158	
8557	Goyevier	1.08	11/04/1999	74.94823	
8675	Chemin Moule 3	1.08	11/04/1999	62.4548	
8847	Limite Cicéron	6.982	13/06/1999	43.20296	
9050	Desvarieux	9.887	11/04/1999	60.92475	
10944	Gommier 5	4.747	21/03/1999	78.89671	
10998	Blonval 2 & 3	16.82	04/04/1999	61.049	
11173	Pont 3 - 4 - 5	15.91	04/04/1999	72.53249	

11 enregistrement(s) issu(s) de la requête | Surface totale: 109 ha



Page CARTOGRAPHIE

Fig.1. L'interface du SIG CASSIS



## **2/ Acquisition de données**

Pour développer et améliorer le modèle de prévision de la croissance de la canne à sucre, et pouvoir procéder à des simulations, il est impératif d'enrichir celui-ci. Ce gain d'information est possible par l'intermédiaire de l'acquisition de données. Ces dernières peuvent être très diverses : météorologiques, climatiques, pédologiques, agronomiques... Notre site d'étude est l'exploitation de Gardel.

Pour ma part, j'ai essentiellement travaillé dans le domaine des données géographiques. Il s'agit notamment de données de repérage géographique (données géoréférencées), grâce à l'utilisation d'un GPS (Global Positionning System). Nous verrons aussi l'importance des données d'altitude, particulièrement pour la mise en évidence du micro-relief dans les parcelles de canne à sucre.

Enfin, une autre partie de ma mission au CIRAD a été de rechercher les meilleures données satellitales disponibles, afin de tenter d'évaluer l'impact de la sécheresse de l'année 2000 sur la production de canne à sucre.

### ***2.1/ La profondeur du sol***

Connaître la profondeur du sol des parcelles de canne à sucre est primordial pour la modélisation de la production. En effet, à partir de cette donnée, nous pouvons déterminer la réserve en eau de ces sols : donnée très utile afin, par exemple, de mieux gérer l'arrosage des parcelles. Connaissant cette réserve en eau, il deviendra alors possible pour l'exploitant d'optimiser ses fréquences d'arrosage, et d'effectuer les apports hydriques aux seules parcelles qui en auront besoin.

Notre terrain d'étude a été l'exploitation de Gardel, en Grande Terre, sur la commune du Moule. Celle-ci est la dernière en activité en Guadeloupe, exceptée celle de Marie Galante. Cette plantation comptait 95 parcelles en 2001 et sa superficie est d'environ 1000 hectares.

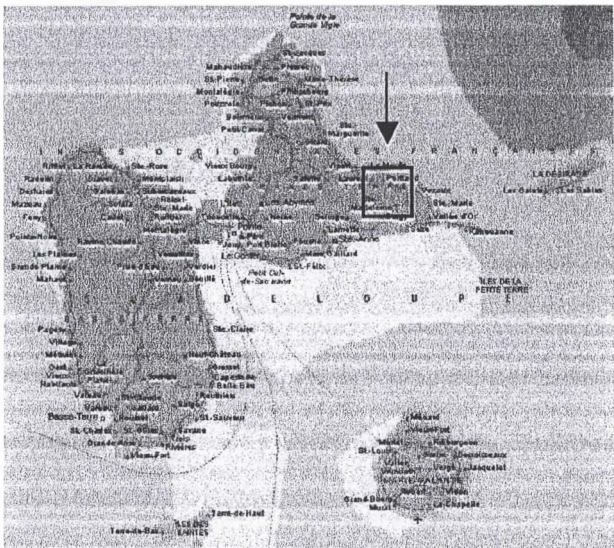


Fig.2. Localisation de l'exploitation de Gardel

L'objectif de notre travail était de parvenir à connaître la profondeur du sol de chaque parcelle, pour aboutir à la cartographie de cette donnée sur l'ensemble de l'exploitation de Gardel.





Fig.3. Carte du parcellaire de Gardel

Nous étions deux personnes du CIRAD pour cette mission : un stagiaire de DEA spécialisé en agronomie tropicale, chargé de la mesure de la profondeur des sols, et moi même, chargé du repérage géographique de ses mesures. De plus, nous avons collaborer avec un ouvrier de l'usine de Gardel, celui-ci étant chargé de nous guider dans la plantation.

#### - Mesurer la profondeur :

Pour procéder à la mesure de la profondeur du sol nous avons utilisé un résistivimètre. Cet appareil mesure la résistivité, c'est à dire la résistance électrique du sol. Connaissant cette valeur, nous pouvons en déduire localement sa profondeur. Pour être



très précis, il aurait fallu faire une mesure tous les 25 mètres. Or, pour des contraintes de temps, nous n'avons pu respecter ces préconisations, et nous nous sommes contenté d'un point tous les 2 hectares.

#### Géoréférencer les mesures :

Pour parvenir à mettre en évidence la profondeur du sol sur l'ensemble des parcelles, et arriver à une cartographie de cette donnée, il était essentiel de géoréférencer chaque mesure, c'est à dire être capable de pouvoir la repérer dans le système de coordonnées choisi (UTM 20 Nord). Pour cela nous avons utilisé un GPS, et, afin d'améliorer la précision de nos relevés, nous l'avons utilisé en mode différentiel (cf. annexe 1). De ce fait, nous avons réussi à obtenir des données spatialisées, dont la précision est submétrique, autant en latitude-longitude, qu'en altitude.



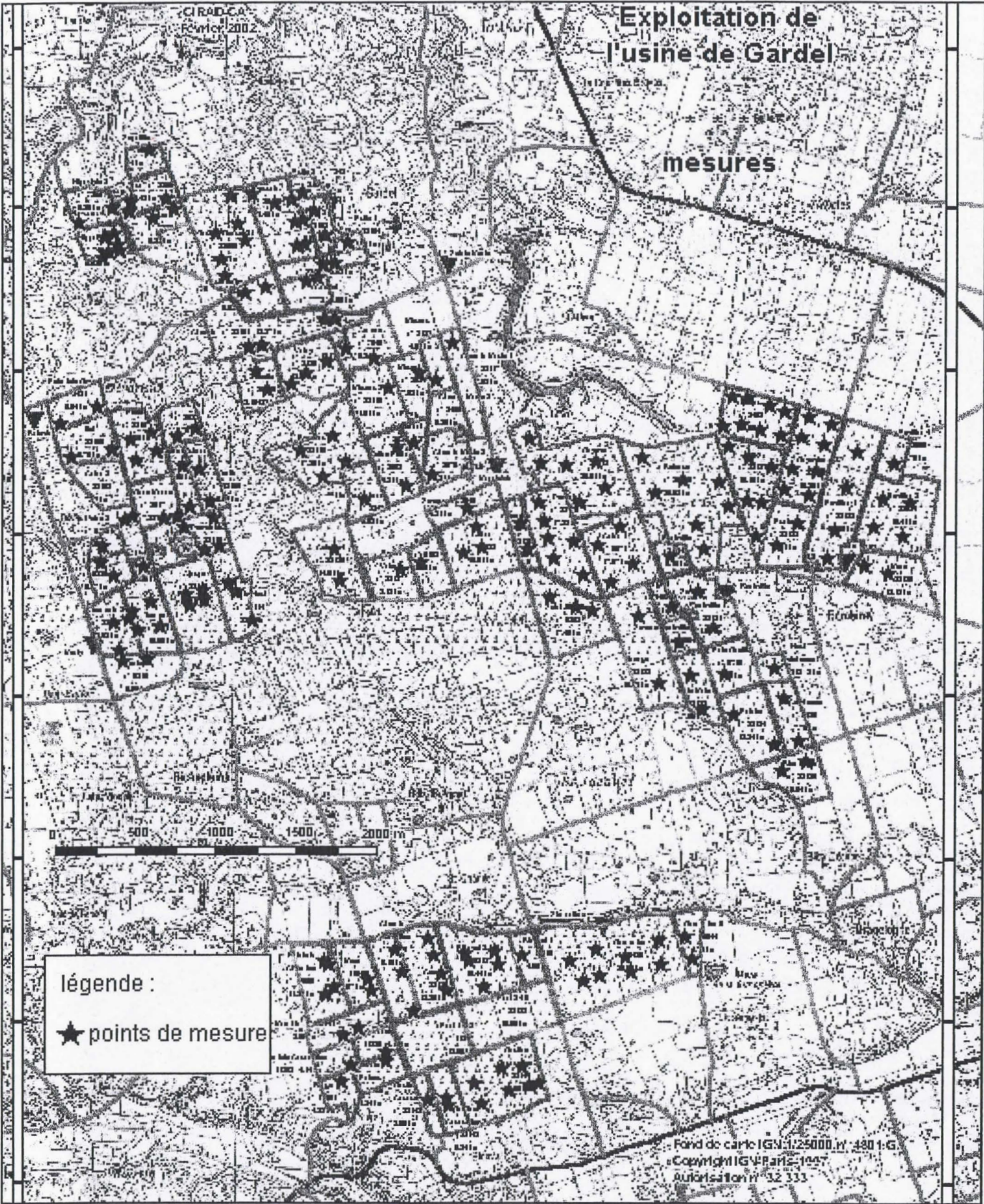


Fig.4. Répartition spatiale des mesures de profondeur du sol





Fig.5. Profondeur du sol



## **2.2/ Le relief**

La profondeur du sol est fortement corrélée au relief des parcelles de Gardel. Donc, pendant nos mesures de résistivité et de positionnement de cette mesure, nous avons tenté d'établir le pendage du sol autour de celle-ci.

Pour cela, nous faisons autour de chaque point de résistivité, quatre autres mesures de positionnement, c'est à dire un carré d'environ 10 mètres de côté. L'idéal pour mesurer le micro-relief aurait été de faire une croix ayant pour centre le point de résistivité, en relevant une position tous les 5 mètres sur environ 20 mètres. Or, lors de notre campagne de mesure, la récolte de la canne n'avait pas encore commencée, ce qui a rendu impossible la mise en place de cette méthode du fait de la taille et de la densité des plants.

Nous nous sommes donc basé sur les courbes de niveau des cartes IGN au 25000è pour corréler nos mesures de résistivité au relief, et pouvoir ainsi extrapoler celles-ci afin d'obtenir une profondeur moyenne sur chaque parcelle de l'exploitation de Gardel.

Aujourd'hui, la campagne sucrière étant terminée, la majeure partie des parcelles sont à nu ou récemment replantées. Ceci devrait nous permettre de retourner travailler sur le terrain pour essayer de mieux appréhender le micro-relief en relevant des positions GPS supplémentaires autour des points de résistivité.

## **2.3/ Les données satellitales**

En 2001, la Guadeloupe a subi une importante sécheresse. Cette dernière a évidemment fait subir de nombreuses conséquences sur la production de canne à sucre.

Pour tenter d'évaluer les impacts de cette sécheresse sur la production de canne, le CIRAD met en place un programme de recherche et de suivi de la production par télédétection. Le site d'étude choisi est celui de Gardel.

Mon rôle au sein de ce programme fût de sélectionner les données satellitales qui nous intéressaient (données SPOT et Landsat). J'aurais également dû me charger du traitement radiométrique de ces images. Toutefois, le programme ayant pris un peu de retard, et anticipant la fin de mon volontariat civil, je n'ai pu réaliser ce travail de traitement d'image.



*Fig.6. Exemple d'images Landsat TM préselectionnées*

### **3/ La gestion du SIG et la production cartographique**

Au CIRAD-CA, la station de Roujol est dotée d'un système d'information géographique (SIG). Cet outil permet essentiellement la mise à jour des parcelles de canne à sucre. Ceci permet de prendre en compte les nouvelles variétés de canne plantées, de suivre l'évolution de l'occupation du sol..

Outre ces activités internes au CIRAD, de nombreux organismes partenaires nous sollicitent pour que nous leur fournissions des cartes mises à jour concernant les plantations de canne à sucre. Il s'agit d'organismes tels que la DAF, l'UDCAG, la chambre d'agriculture...

En plus de ces activités de mises à jour et de productions cartographiques, une de mes missions consistait à former certains employés du CIRAD, et aussi certaines personnes d'autres organismes. Ces "formations", ou ce transfert de connaissances a concerné autant l'utilisation du GPS que le logiciel MAPINFO.

#### **3.1/ Le SIG de Roujol**

La structuration et l'organisation du SIG du CIRAD-CA de Guadeloupe est bien détaillée dans le rapport d'activité de Benoit Gandouly (VAT d'octobre 2000 à novembre 2001), intitulé : « **GPS, cartographie et SIG au CIRAD-CA de Guadeloupe** ». Il est donc conseillé de consulter ce document pour plus d'informations.

#### **3.2/ La production cartographique**

Les principales cartes que j'ai produites concernent la canne à sucre. Il s'agissait d'abord des cartes relatives à la profondeur des sols (cf. Fig 4 et 5), issues de nos mesures de profondeurs et des données GPS acquises. Ces cartes étaient destinées au CIRAD, le but étant l'amélioration du modèle de prévision de croissance de la canne.

D'autres cartes concernant les plantations de canne à sucre ont été produites, notamment pour des organismes tel que la DAF.



Des cartes concernant la rotation canne/banane ont également été produites sur la zones de Capesterre Belle-Eau, toujours pour le CIRAD.

Enfin, des cartes plus diverses ont été réalisées. Il s'agit par exemple d'une carte d'épandage réalisée pour le compte de l'UDCAG.

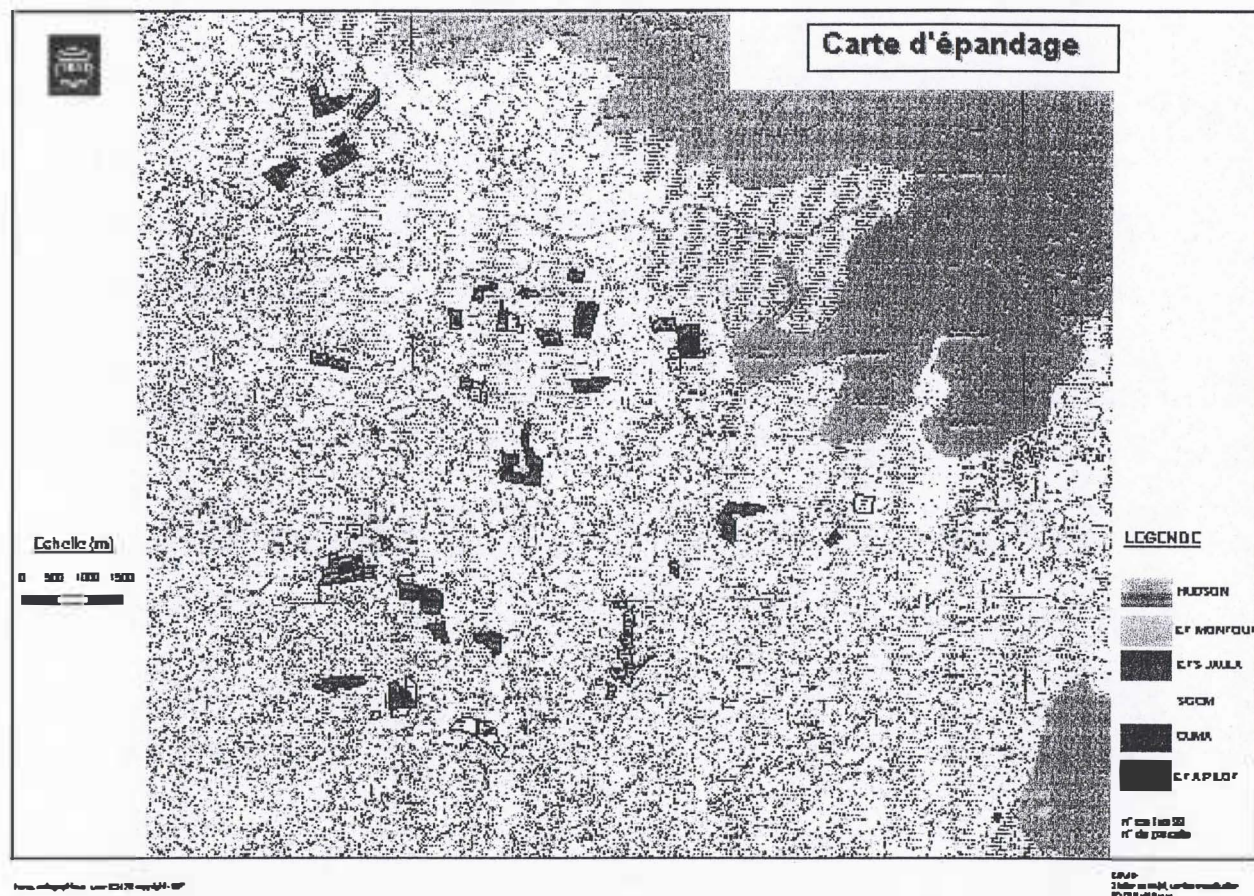


Fig. 7. carte d'épandage

### ***3.3/ Le transfert des connaissances***

La dernière partie de ma mission a consisté à former du personnel du CIRAD (stagiaires, VCAT, employés) à l'acquisition, au traitement, et à la cartographie des données.

Pour l'acquisition, j'expliquais le fonctionnement du GPS différentiel et j'organisais des exercices pratiques sur le terrain.

Pour le traitement et la cartographie, je les ai initiés à la manipulation des logiciels PATHFINDER et MAPINFO.

D'autres personnes extérieurs ont pu bénéficier de ces formations, il s'agit notamment du personnel de MétéoFrance Guadeloupe et de la DAF.

## **Annexes**



## **Annexe 1 :**

### Le fonctionnement du GPS différentiel

## Differential GPS

The key to improving the accuracy of GPS measurements is to use Differential GPS (DGPS). The concept is very simple: you have one GPS receiver at a fixed, known location, generally called the "base station", and one moving between unknown locations, called the "roving station". Since the location of the base station is known precisely, it can calculate the error in the SV's transmitted range signals, whether this comes from SA or other sources, and the roving station can apply these corrections to its measured ranges and get an improved result. The exact amount of improvement, as with anything to do with GPS, depends on a number of factors, but the third column in the table gives some typical values. In order for the DGPS to work well, the two stations must have a sufficient number of common satellites. In order for the atmospheric errors to cancel, the distance between the two receivers, termed the baseline, should be as small as possible.

There are a number of different ways of using DGPS, depending on accuracy requirements and other considerations. The biggest split is in whether the DGPS-corrected fixes are available immediately in the field, for which real-time techniques are necessary; or if they can only be calculated at a later time, for which post-processed techniques are acceptable. For logging cave entrances and radiolocations, either technique is acceptable, but for navigating back to cave entrances real-time capability is necessary.

Another split in techniques is whether the measurements are single-frequency, using just L1, or dual-frequency, using L1 and L2. Dual-frequency measurements are much more accurate because they can eliminate ionospheric effects, but to use dual-frequency equipment at the roving station is well out of most cavers' budgets.

Another split is between code-phase measurements, which use the transmitted ranging-code signal to determine ranges and carrier-phase measurements, which make measurements on the carrier directly. Since the carrier frequency is about 1000 times higher than the code frequency, carrier-phase measurements will be much more accurate. However, there is a problem in that one carrier-cycle looks exactly like any other, so there will be an integer ambiguity in the solution. It is possible to get around this in several ways, but care and special procedures are needed in the field in order to avoid accidental loss of lock or cycle slips. Carrier-phase equipment is typically expensive and only used by professional surveyors, but there are some low-price receivers which can provide carrier-phase information.

Finally, there is a split between whether the roving station is actually moving, which is called "kinematic", or stationary, which is termed "static". One combination which is frequently used is Real Time Kinematic (RTK) surveying, which is invariably done by carrier-phase methods.

There is sometimes a distinction between "short baseline" and "long baseline" techniques, but what exactly counts as a short or long baseline depends greatly on the situation. For carrier phase techniques like RTK, the cutoff is around 15km. For some other techniques, the cutoff is about 200km, the point at which it becomes better to use the ionospheric model rather than assume the ionospheric conditions are identical at the two stations. Techniques using long baselines, atmospheric modelling, and carrier-phase, are sometimes called Very Long Baseline Interferometry (VLBI) and are used for measuring geodetic parameters like the deformation of the earth's crust and movements due to plate tectonics.

I shall discuss both real time and post-processed DGPS, limiting the discussion to systems which might be relevant to cavers.

## Real Time Methods

Most consumer-grade GPS units bill themselves as "DGPS-ready". What this actually means is that they are capable of receiving DGPS corrections from an external source. In every case I have seen,

the format of the source is the one chosen by the Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (RTCM-SC104), currently at version 2.1, which is a serial format with extensive parity information, suitable for noisy radio links. It is designed to be transmitted at low bit-rates, of the order of 100bits/sec, and hence has to be a little clever regarding the way it sends the corrections. Since the SA error changes quite rapidly, making corrections become out-of-date over less than a minute, the RTCM-SC104 format actually sends both the corrections and rates of change with time for the corrections, to make them valid for longer. Unfortunately the RTCM-SC104 standard is a copyrighted document, and you have to pay to obtain a paper copy from the RTCM itself, for about \$50.

While I'm on the subject of interface standards, as well as taking RTCM-SC104 for DGPS input, many receivers can output position data in a digital form, and of those that can, many use a format designed by the National Marine Electronics Association (NMEA), called NMEA-0183. This is a general format for communication between navigation equipment, for example between an electronic compass and an autopilot. The specification is online at <http://vancouver-webpages.com/peter/> and it is another serial protocol which PC's can speak using their serial port.

### **Sources of Real-Time Corrections**

#### **Poor Man's DGPS**

Once people hear about DGPS many assume all they need to do is buy two separate GPS receivers and subtract the displayed position of one from that of the other. This is commonly called "poor man's DGPS". Unfortunately this is unlikely to work very well for a number of reasons. The two receivers will probably not have the same set of SVs visible; even if the same SVs are visible the two receivers may not be using the same SVs in their solutions; even if they are using the same SVs they may not be using the same edition of the ephemeris data for those SVs; even if they are using the same SVs and ephemerides, unless the two receivers are exactly the same (same manufacturer, model, firmware version) they may not weight the different SVs equally in producing the final position solution. Having made all these discouraging remarks, poor man's DGPS can sometimes be useful. It is often possible to get the receivers to output the set of satellites in use as NMEA messages, and only to perform the subtraction when the two sets match. This way, modest improvements in accuracy can be obtained, and you will never get a worse fix than you would have without DGPS, but you need to be willing to accept that sometimes you won't be able to get an improvement without returning to the site you were trying to survey, and hoping that this time the two GPS units use the same set of satellites.

#### **Beacons**

The USCG run a network of transmitter beacons on the 283.5-325kHz marine frequency and the International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) <http://www.beta.ialaia.org/pages/english/pi.htm> manage a similar network of beacons for coastlines worldwide. The big advantage of these systems is that it is completely free for you to use the signals.

A listing of beacons, with frequencies and nominal ranges is at <http://www.csi-dgps.com/dgps/b-list.htm> and graphical coverage maps are available from <http://www.csi-dgps.com/dgps/b-maps.htm>. It is worth bearing in mind that these beacons are mainly intended for ships to use to navigate along coastlines, and any reception inland is a bonus, not guaranteed. The ranges seem to be rather optimistic therefore for inland use, and Hiretec report that they are only able to receive the Hook of Holland beacon intermittently at their site in Great Yarmouth, despite being well within it's nominal range, and Lowe Electronics tell me that they were unable to pick up any signal whatsoever in Matlock.

Most of the commercial beacon receiver systems are, unsurprisingly, intended for marine use. If you want to put one in your rucksack and carry it around on the hillside then you will need to think



about power supplies, and will have to get an H-field antenna, which is more expensive than the standard E-field version, but does not require earthing.

A popular 300kHz beacon receiver is the Garmin GBR-21, which is best used with Garmin GPS units because the receiver tuning is performed using a propriety Garmin-specific protocol. Effective Solutions (<http://www.effective-solutions.co.uk/>) sell the GBR-21 for £287, an H-field antenna for an additional £63, and the ESP-1, a system including a rechargeable SLA battery, cables and mounting system to use the above two items in a back-pack, for another £180 (prices exclude VAT). I have heard from a few sources that the GBR-21 actually performs quite badly, especially in weak-signal situations, and that the units from CSI (<http://www.csi-dgps.com/home/toc.htm>) are greatly superior. These are sophisticated units, with two independent receiver channels, so that one can be scanning for the strongest signal while the other provides corrections. This seems to come at a price, however, since the units start at £635. If you are willing to do a bit of work, they sell an OEM card version (minus box, power supply, antenna, for £196). CSI units can be purchased in the UK via TDC (<http://www.tdc.co.uk/gpswire/>), amongst others.

If you want to build your own beacon receiver, there is a design at <http://home.san.rr.com/bix/DGPS Project.htm> for a unit with an estimated parts cost of \$120, and some designs at [http://home1.gte.net/clseng/DGPS\\_index.htm](http://home1.gte.net/clseng/DGPS_index.htm) for units varying in price from \$25 to \$100 depending on functionality, including a nice pocket-sized, H-field, low power - 60hrs off one 9v battery - version (you can even buy a PCB).

## RDS

It is possible to send corrections using the Radio Data System (RDS). This is an international standard for sending digital data embedded into a subcarrier of FM radio transmissions, and is the mechanism that allows modern car radios to display the station name, automatically switch to traffic updates and so on. Differential Corrections Inc (DCI) (<http://www.dgps.com/>) of the USA has created a scheme for sending differential correction data via RDS which can be tuned into RTCM-SM104 at the receiver (due to the characteristics of the RDS channel it is not appropriate to send the RTCM-SM104 directly). Many countries around the world have gone into partnership with DCI (Australia, Israel, Belgium, Luxembourg, Denmark, Slovakia, Finland, Sweden, Great Britain, Switzerland, Holland, Taiwan, Hungary, Turkey) and offer compatible services. In Britain the service is operated by focus FM (<http://www.cmt.co.uk/focusfm/focusfmmain.html>). All these DCI-type services are subscription services, where you must pay a license fee in order to receive the signals. In the UK there are two possible services: the basic service, offering 10m accuracy, and the premium service which offers 1-2m accuracy (assuming you use a sufficiently accurate GPS receiver). Receivers for the corrections start at about £315 (and go up to £700 for rugged IP67 units). I haven't been able to discover prices for the subscriptions, but I know that you can subscribe one, two or three years at a time and that they are quite expensive (probably too expensive to be useful for cavers' purposes). The focus FM corrections are broadcast on the RDS subcarrier of INR1, which is currently licensed to Classic FM. There is a UK coverage map at [http://www.tdc.co.uk/gpswire/images/products/dgps/fm\\_map.jpg](http://www.tdc.co.uk/gpswire/images/products/dgps/fm_map.jpg), but it is worth bearing in mind that sometimes areas which ought to be covered are not, or are patchy. In general if you can pick up Classic FM with a good strong signal and good stereo separation at a site, you will probably be able to receive differential corrections.

## RDS - RASANT

While most countries have adopted a DCI-style RDS system, the Satellite Positioning Service (SAPOS) of the German National Survey put together a similar, but incompatible, system called Radio Aided Satellite Navigation Technique (RASANT). There is an overview of the system at <http://home.t-online.de/home/bgaltzki/rasantus.pdf>. The stated accuracy is 1-5m 2DRMS. The main notable difference from the DCI system is that you don't have to pay an annual subscription fee. Instead you pay a one-off license fee of around £30 which is included in the price of the receiver and distributed to the signal providers. There are 11 public broadcasting stations in Germany

broadcasting RASANT and the coverage is apparently good. Recently Spain has decided to adopt this system, with corrections being broadcast on the equivalent of classic FM (Radio Clasica, or RNE2). Initially coverage was limited to Catalonia, but a large part of the country is now included. RASANT hardware is available from several small companies, a typical units being the RDS-66 from ertec (<http://www.ertec.com>), and the TGPS-2 from tecnogps ([http://www.tecnogps.com/rasant\\_eng.htm](http://www.tecnogps.com/rasant_eng.htm)), which costs \$355.

#### Satellite corrections

A nice idea for receiving corrections to a satellite navigation system is to transmit them from a satellite. OmniSTAR is a system which does just that. The technique is described at <http://www.omnistar.nl/omniSTAR%20Differential%20GPS-system%20design.htm> and is rather clever. They have a network of many base stations around the globe, and transmit corrections from geostationary satellites. The receiver for these signals weights the measurements depending on how close they are, and does some tricky atmospheric corrections, and finally generates an RTCM-SC104 message which is completely optimised for the user's location. They call this system Virtual Base Station (VBS) and they claim sub-metre accuracy worldwide. The main disadvantage of OmniSTAR is the price of the subscription, which is of the order of £800 for a year, although they do offer cheaper alternatives, which are restricted to a particular continent or to an area of a few hundred kilometers radius. They also sell subscriptions by the hour - your receiver has a counter which ticks down as you use it. The minimum purchase is 100hours and I do not know what the prices are for this service.

Landstar is another satellite-based system similar to OmniSTAR. There is a website for it at <http://www.racal-landstar.com/index3.htm>.

#### DGPSip

Wolfgang Rupprecht has written some software to distribute RTCM-SC104 over the internet. It's called DGPSip and is available free under the GNU Public License (GPL) for both UNIX and windows at <http://www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html>. To use it you just get (or write) a client for your internet-connected computer, and hook your GPS up to the serial port. DGPSip measurements are currently being taken at three locations, all in North America, and distributed this way. This is not very useful to people elsewhere in the world because it is unlikely that they would share many common satellites in view with these base stations, but it ought to be easy to set up your own DGPSip station by connecting a marine beacon receiver to a PC with a permanent internet connection. The bandwidth requirements for doing this would be very small, since the beacon datastreams are only of the order of 200bits/sec. Perhaps someone with connections at a university near to a beacon transmitter would like to do this as a service for people all over Europe?

#### DIY

Fully-featured DGPS base stations are available but far too expensive for most cavers, and most consumer GPS units are unable to output the raw pseudorange information. I don't know why they can't, since they clearly have the information available and it would be very useful, but they don't. However, it is apparently possible to use an undocumented mode on Garmin 12-channel receivers to get the information. (See the discussion of GRINGO below). Also the Delorme Earthmate can provide the relevant information given the correct software. The best option is probably to use one of a number of OEM GPS receiver boards from several manufacturers which can provide raw measurements. There is a list of such boards, with a comparison of features on Sam's Raw Data Pages at <http://home-2.worldonline.nl/~samsvl/>. Prices are about £100-£200 and some of them can even do carrier-phase measurements. Sam also has a lot of information about how to go about doing the processing of the data (including actual code) and how to test the accuracy of your GPS hardware.



The Tuscon Amateur Packet Radio Corp have put together a design for a DGPS base station based around the Motorola Oncore VP OEM GPS receiver board <http://www.tapr.org/tapr/html/Fdgps.html>, and sell kits of parts for a board to convert the motorola binary format into RTCM-SC104.

Once you have got your range-corrections, you will need to find some way to transmit them to your roving station, using a radiomodem or something similar. If you are resorting to DIY DGPS the chances are that you are in a pretty remote area. If this is the case then you'll have to bring lots of batteries or a solar panel to keep the base station and transmitter running.

### Postprocessed DGPS

If you don't mind waiting a day or several to get your precise fixes then you can use postprocessed DGPS. The procedure to follow in this case is relatively straightforward:

- 1) Store raw pseudoranges from your GPS unit;
- 2) Obtain raw pseudoranges from another site;
- 3) Obtain precise ephemerides (optional); and
- 4) Combine these data to arrive at a solution.

For item 1) there is a standard for storing the raw pseudoranges, called Receiver Independent Exchange Format (RINEX) currently at version 2. The format is described at <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Rinex2.html>. As described above, most consumer GPS units do not make the raw pseudoranges available. However, the Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy (IESSG) of the university of Nottingham (<http://www.nottingham.ac.uk/~iszwwww/isghome.html>) have written a program called GPS RINEX Generator (GRINGO), which claims to be able to use undocumented features of Garmin 12-channel receivers to obtain both code-phase and carrier-phase information from the units. It is commercial software with an annoying copy-protection scheme, and costs £65+VAT for a code-phase only version, and £100+VAT for the full carrier-phase version. As well as GRINGO your money also gets you a fairly simple post-processor called P4. To check that it all works and gives acceptable performance you can download a demo of the code-phase versions of GRINGO and P4 which work for a minute at a time. While it sounds great I would be wary of this method since it relies undocumented features, which may only be valid for certain models and firmware revisions (even though they have tested it on several Garmin 12-channel units). Also, they do not publish any performance figures or before and after graphs, so it is difficult to say how well it works. A final problem is that because it is written in Visual Basic 5, it requires a windows-95 PC which must be fairly powerful, such as a pentium-90. A cross-platform solution would be nicer so you could use a palmtop device or lower-spec laptop. If you don't use GRINGO then you can use any of the OEM GPS boards described above and either write your own software to convert to RINEX, or hope the manufacturer has already done this task.

Regarding item 2), to gain RINEX data for a base station, you could just use the same technique from the previous paragraph with a second GPS unit and laptop, but this will be fairly expensive and require lots of batteries to keep it going full-time. A better method is to download RINEX data for a nearby observatory from the web. There are several networks providing RINEX data online for free, which are used for various academic and commercial purposes: in North America there are the Continuously Operating Reference Stations (CORS) at <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/cors-data.html>; in Europe there is a system called EUREF <http://homepage.oma.be/euref/eurefhome.html>; and for the rest of the world there is the International GPS Service (IGS) <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>. Find a site near you and you should have very high quality data available, with carrier phase measurements on both L1 and L2, using the highest quality receivers and antennae, etc. The sites will generally not be terribly close, but they should be close enough for our purposes. The latency for these data becoming available online is about 24hours.



The third item on the list is obtaining precise ephemerides. This is possible because people like the IGS make very precise measurements of the GPS constellation and can calculate very precisely where the satellites actually were at any given time. These data are also available for free online from the above sites, with predicted data for the next 2 days available, a "rapid" processing of the last couple of weeks with a latency of 15 hours or so, and a "precise" reprocessing of everything older than that with a latency of a fortnight. Using the precise ephemerides instead of the broadcast values may not make a lot of difference to the solution, but it certainly won't make it less accurate.

The final step on the list is to combine all the data and arrive at a solution. This is easier said than done as there is a lot of subtlety involved, especially if carrier-phase measurements are involved. As I said above, GRINGO comes with a program called P4, which is simple but appears to do the job. Much more fully featured programs are available from Waypoint Consulting <http://www.waypnt.com/index2.html> but I expect these will be too expensive for our purposes. The Waypoint website has lots of interesting technical reports about using postprocessing in a variety of situations, including comparing cheap receivers like the OEM boards against expensive geodetic units, single-frequency versus dual frequency comparisons, precise ephemeris versus broadcast ephemeris comparisons, short versus long baselines and so on. Their software is able to log data from a variety of receivers, including some of the OEM boards mentioned earlier, and the datalogging part of the suite is able to run on DOS, windows and WinCE equipment.

An open-source multiplatform postprocessing program would be a useful thing, and the first steps in this direction are happening at <http://www.wombat.ie/gps/downloads.shtml>, which is released under the GPL, but things are not yet too well advanced there.

**Source :** <http://pantheon.yale.edu/~lsb32/gps2.html>